

UTILIZACIÓN DE MAPAS DE ANOMALIAS EN LA REPRESENTACIÓN DE MODELOS CARTOGRÁFICOS DE TEMPERATURA Y SALINIDAD EN LAS AGUAS DE UNA BAHÍA INTERIOR

Jacinto A. González¹, Rolando González¹, Homero Menéndez¹

¹División de Estudios Medio Ambientales, Grupo Empresarial GEOCUBA, MINFAR, Ciego de Ávila. Cuba. , filialciego@geocuba.cu

RESUMEN:

Durante la continuación de los estudios del comportamiento de los parámetros fundamentales de las aguas de Bahía de Perros debido a la contribución de las variaciones naturales y las transformaciones antrópicas acaecidas, a partir de las bases de datos existentes, se realizó la representación de los resultados obtenidos de la temperatura y salinidad mediante modelos cartográficos de variables continuas, los que no cumplieron con nuestras expectativas al explicar el intercambio de agua subterráneo acuíferos-aguas litorales. El objetivo principal de este trabajo es conocer la posibilidad que pueden ofrecer el uso de los mapas de anomalías, hasta ahora utilizados fundamentalmente en geología, geofísica, etc., para representar cartográficamente la dinámica de dicho intercambio, con lo que se complementarían los modelos cartográficos ya descritos. Se logró obtener modelos de conocimientos que representan patrones de comportamiento observados cartográficamente de temperatura y salinidad en aguas marinas de una bahía interior, en las que ocurren diferenciaciones pronunciadas en los parámetro ya referidos, anomalías positivas o negativas. Estos resultados permitieron ampliar los conocimientos adquiridos en estudios previos sobre el intercambio de aguas subterráneo acuíferos-bahía.

Palabras clave: mapas de anomalías, modelos cartográficos, salinidad, temperatura, acuíferos, aguas litorales.

INTRODUCCIÓN

La representación mediante modelos cartográficos de los parámetros temperatura y salinidad en las aguas marinas, incluyendo las aguas de bahías interiores, es un método utilizado universalmente.

Durante la realización de los estudios del comportamiento de estos parámetros en las aguas de Bahía de Perros, en el Gran Humedal del Norte de Ciego de Ávila, Cuba, se utilizó la representación cartográfica de variables continuas como una forma objetiva, fácil y rápida, de darle seguimiento a las transformaciones existentes, en espacio y tiempo, durante los periodos lluviosos y poco lluviosos de 1988-93, ante las variaciones en las condiciones naturales y las acciones antrópicas que se iniciaron con la construcción del vial Isla de Turigüanó-Cayo Coco en 1988 [1].

Los resultados obtenidos nos permitieron conocer que los incremento mayores de temperatura y salinidad se localizaron en las áreas ubicadas al Centro-NE y Centro-NW de la bahía, tomando como referencia la división antrópica constituida por la construcción del vial ya antes mencionado. Concomitantemente con estos resultados se obtuvo, desde el punto de vista espacial, una diferenciación entre ambas zonas, fundamentalmente con incrementos superiores hacia la zona Centro-NE [1], [2].

No obstante en estos resultados, no se logró apreciar en las representaciones de los modelos cartográficos de variables continuas los cambios influenciados por el intercambio subterráneo entre las aguas litorales de la bahía y los acuíferos situados cercanos a la costa, facilitado por las características geológicas del territorio [3] y regulado por el período del año que se estudie [4].

Esto conllevó a que nos planteáramos resolver esta limitante a partir de la utilización de otra forma de representación cartográfica que cumplimentara la ya descrita, con el fin de darle respuesta al problema planteado, la representación cartográfica de la dinámica de dicho intercambio. Con este fin, se realizaron los mapas de anomalías, fundamentalmente empleados hasta el momento en estudios geológicos y geofísicos [5] - [7], lo que nos permitió lograr nuestro objetivo, la interpretación y evaluación consecuencia del intercambio subterráneo entre las aguas litorales de la bahía y los acuíferos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Método de muestreo.

Los autores de las datos en Bahía de Perros seleccionaron la ubicación de las estaciones de muestreo (red de muestreo), bajo el criterio de la dinámica de circulación y las características geográficas de la zona, la que está formada en más del 50 % por bajos inferiores a 0.7 m. Las mismas se obtuvieron mediante campañas de muestreo mensual, durante los períodos poco lluviosos y lluviosos, entre 1988 hasta 1993. La red de estaciones tuvo dos etapas, inicialmente se monitorearon 7 estaciones entre 1988 - 1990; las que posteriormente se incrementaron a 14 entre 1991 - 1993, (figura 1).

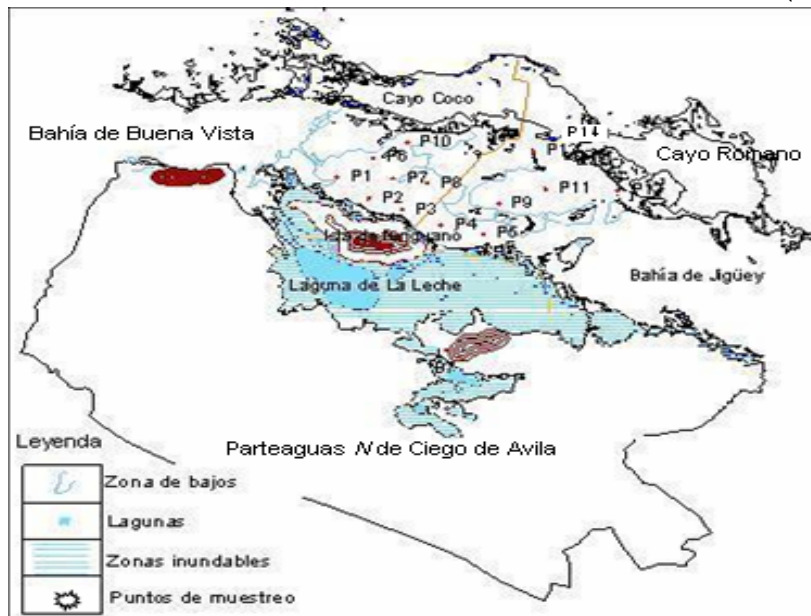


Figura 1. Estaciones de muestreo Bahía de Perros

Los muestreos en cada campaña se ejecutaron en un barco de pequeño calado, con mareas vivas, comenzando en horas de la mañana (~ 08:30). El orden de toma de muestras se realizó siguiendo las facilidades de navegación que ofrecía el área. En cada una de las estaciones se colectó una muestra de agua de forma manual, con una botella oceanográfica tipo Niskin, 2 L de capacidad, a 0,30 m de la superficie independientemente de la profundidad existente en cada estación de muestreo (entre 0,70–2,50 m).

No se han realizado muestreos en las zonas pantanosas y cenagosas de inundación permanente del humedal costero existente en la costa sur de la bahía, ya que nunca han existido las condiciones logísticas para realizar trabajos de campo sobre espejos de agua con profundidades < 0.50 m.

Métodos analíticos.

Se midió in situ la temperatura en grados centígrados (°C), mediante un termómetro TM-4 con precisión 0,1°C. La salinidad se determinó mediante el Método Knudsen (Knudsen, 1931).

Materiales utilizados.

- Data de precipitaciones: 1987-92. Estaciones pluviométricas en el acuífero (Empresa Aprovechamiento Hidráulicos, 1987-1992).
- Bases de datos obtenidos por el autor y sus colaboradores de los parámetros: temperatura y salinidad, según la red de muestreo establecida en la Bahía de Perros, desde el período lluvioso de 1988 hasta el periodo lluvioso de 1992 (González y col., 1991 y González y Maldonado, 1993)

Procesamiento estadístico.

Los datos halinos fueron procesados estadísticamente mediante Microsoft EXEL 2003 y Surfer 8 Golden Software, Inc. 2002, tomándose las medias de los valores de cada parámetro, en cada punto de medición (estación de muestreo), para representar los modelos cartográficos de variables continuas.

Procesamiento digital.

Para el procesamiento digital de la información se utilizaron varios software que se relacionan a continuación:

- Auto CAD Map 2004. Autodesk, Inc. 2004.
- Surfer 8. Golden Software, Inc. 2002.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La representación de los modelos cartográficos de variables continuas de temperatura y salinidad, entre los periodos lluviosos y los periodos poco lluviosos, entre 1988 y 1993, dieron por resultado un incremento sostenido en espacio y tiempo, en aquellas áreas ubicadas al Centro-NE y Centro-NW de Bahía de Perros, fundamentalmente hacia la primera. Figuras 2, 3, 4, 5 y 6, 7, 8, 9.

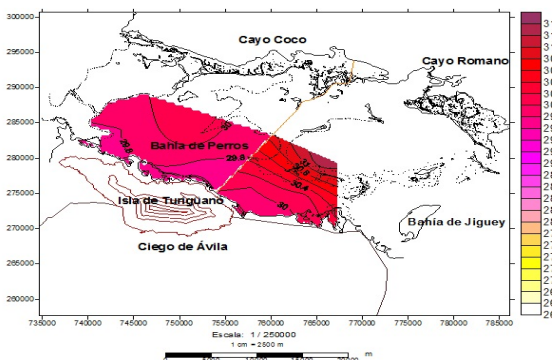


Figura 2. Temperatura. Periodo lluvioso 1988

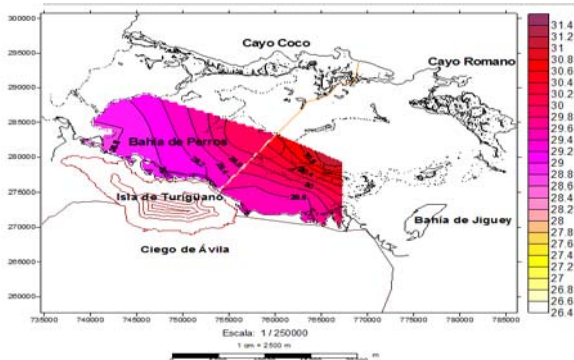


Figura 3. Temperatura. Periodo lluvioso 1990

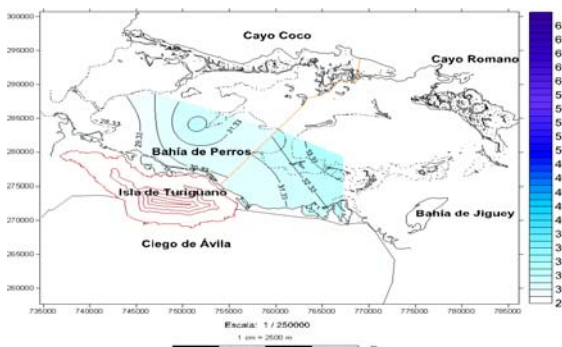


Figura 4. Salinidad. Periodo lluvioso 1988

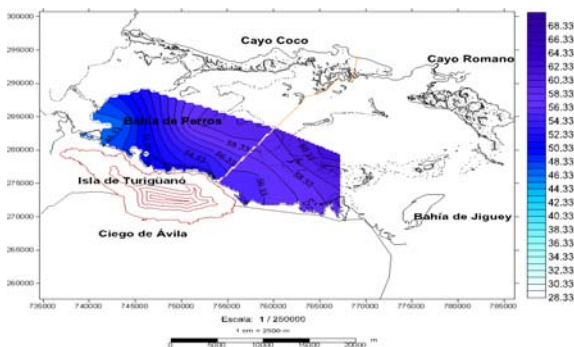


Figura 5. Salinidad. Periodo lluvioso 1990

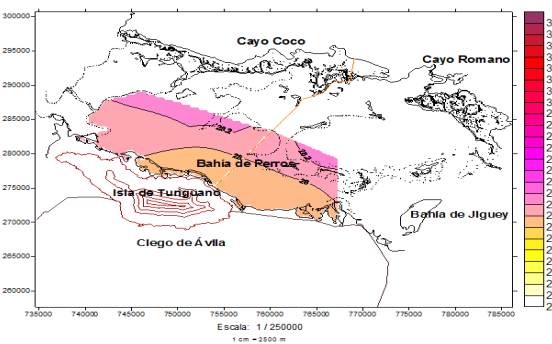


Figura 6. Temperatura. Periodo lluvioso 1988-89

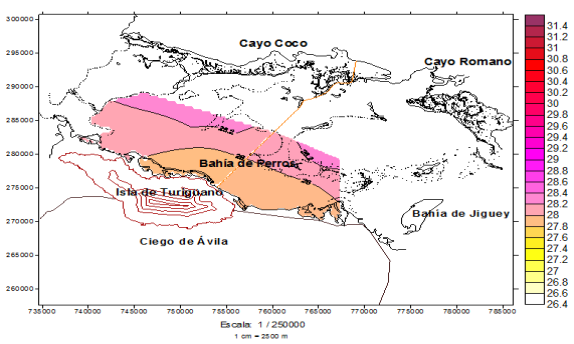


Figura 7. Temperatura. Periodo lluvioso 1989-90

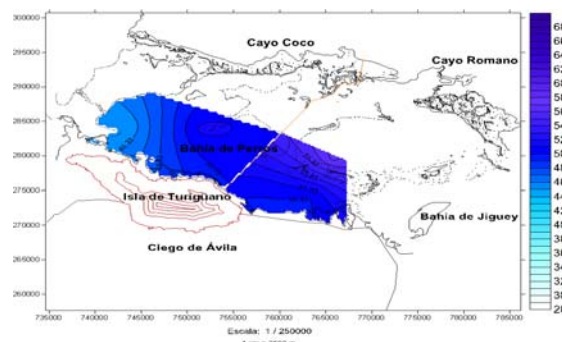


Figura 8. Salinidad. Periodo poco lluvioso 1988-89

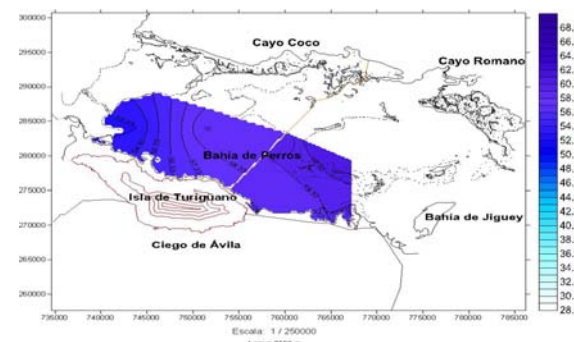


Figura 9. Salinidad. Periodo poco lluvioso 1989-90

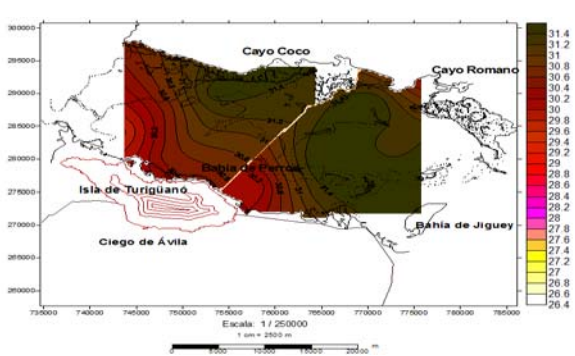


Figura 10. Temperatura. Periodo lluvioso 1991

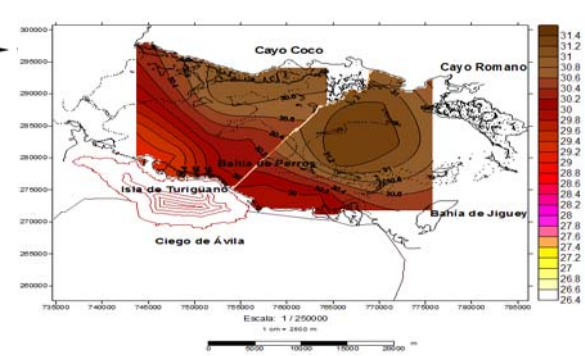


Figura 11. Temperatura. Periodo lluvioso 1993

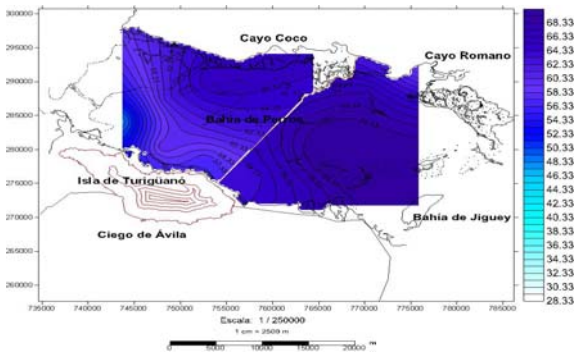


Figura 12. Salinidad. Periodo lluvioso 1991

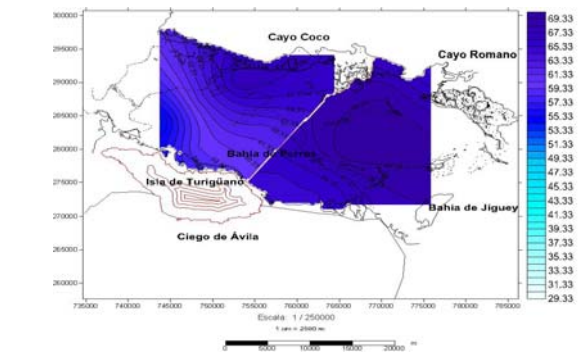


Figura 13. Salinidad. Periodo lluvioso 1993

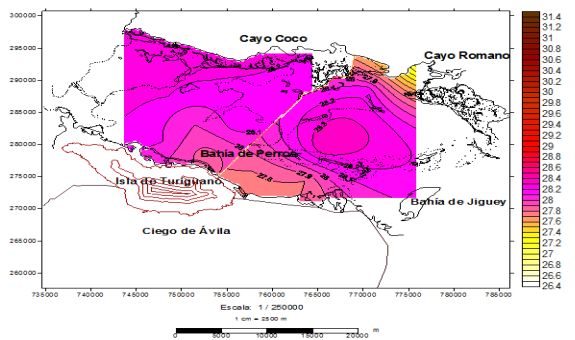


Figura 14. Temperatura. Periodo poco lluvioso 1990-91

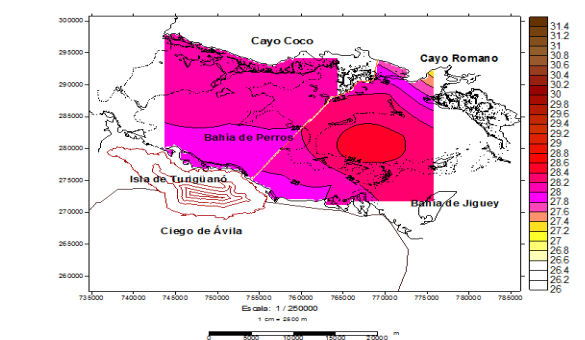


Figura 15. Temperatura. Periodo poco lluvioso 1992-93

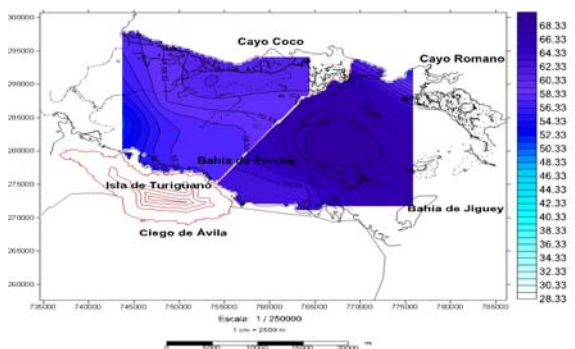


Figura 16. Salinidad. Periodo poco lluvioso 1990-91

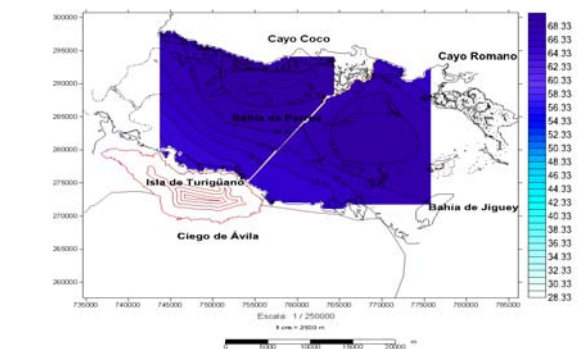


Figura 17. Salinidad. Periodo poco lluvioso 1992-93

Este incremento de temperatura y salinidad en las áreas ubicadas al Centro-NE y Centro-NW de la bahía, desde el punto de vista temporal, fue motivado en parte por las condiciones naturales: más del 40 % de su área total por bajos con < 0.70 m, lo que favorece el incremento de la evaporación en toda esa área y la permanencia de escasas precipitaciones durante el transcurso de los años estudiados, tanto durante los periodos lluviosos, como poco lluviosos, lo que es bastante frecuente en el área que nos ocupa, según reportes del INSMET-CITMA [8]: Estas alteraciones motivadas por causas naturales se acrecentaron por las acciones antrópicas acaecidas: construcción del vial Isla de Turigüanó - Cayo Coco (1988), cierre prácticamente total del escurrimiento superficial de la costa *N* del territorio hacia la bahía (1989) y cierre de la Pasa de Paredón Grande (1990) [1].

También, desde el punto de vista espacial, se apreció la ocurrencia de una diferenciación de temperatura y salinidad entre las dos áreas en las que fue dividida artificialmente la bahía por la construcción del vial, apreciándose un incremento en ambos parámetros hacia la zona Centro-NE, periodo tras periodo estudiado, en lo que indudablemente influyó de manera determinante la construcción de dicho vial, el que por sus características de diseño limitó en más del 80 % el flujo de las aguas existente, fundamentalmente la corriente costera, así como el flujo y reflujos indirecto y desfasado de mareas existente a partir de la Bahía de Buena Vista, situación que se extendió hacia la Bahía de Jigüey, cuyos límites con la Bahía de Perros es sólo cartográfica, no física [9], [10]; así como, el cierre de la Pasa de Paredón Grande, única área por la que existía un intercambio limitado de agua con el océano [1].

No obstante en estos resultados, no se logró apreciar en las representaciones de los modelos cartográficos de variables continuas los cambios influenciados por el intercambio subterráneo entre las aguas litorales de la bahía y los acuíferos situados cercanos a la costa, facilitado por las características geológicas del territorio [3] y regulado por el período del año que se estudie [4].

Esto conllevó a que nos planteáramos resolver esta limitante a partir de la utilización de otra forma de representación cartográfica que cumplimentara la ya descrita, con el fin de darle respuesta al problema planteado, la representación cartográfica de la dinámica de dicho intercambio. Con este fin, se realizaron los mapas de anomalías, modelos de conocimiento multicapas que representan los patrones de comportamiento observados cartográficamente mediante la comparación entre varios modelos o capas, fundamentalmente empleados hasta el momento en estudios geológicos y geofísicos [5] - [7].

Se representan los resultados obtenidos para la temperatura y salinidad a partir de la comparación entre modelos o capas superpuestas, denominados mapas de anomalías o modelos de conocimiento obtenidos mediante patrones de comportamiento observados cartográficamente, entre los periodos lluviosos de 1988 al 1990 y 1991 al 1993 y los periodos poco lluviosos de 1988-89 al 1989-90 y 1990-91 al 1992-93. Estos resultados nos permitieron interpretar y evaluar el papel positivo o negativo que posee el intercambio de agua entre la Bahía de Perros y los acuíferos comprendidos al norte del parteaguas de la provincia de Ciego de Ávila [4], en el valor de estos parámetros, en dependencia de la densidad del parámetro analizado en las áreas litorales, tanto al *E* como al *W*. Figuras 6 y 7.

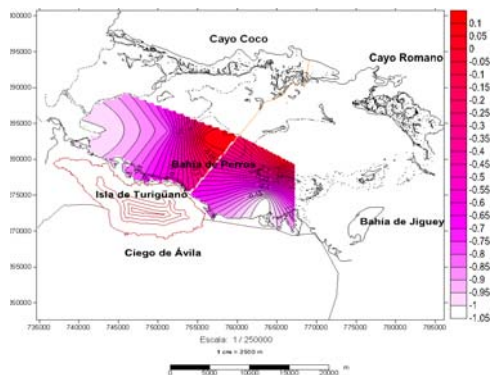


Figura 8. Anomalía de T. Lluvioso 1988 y 1990

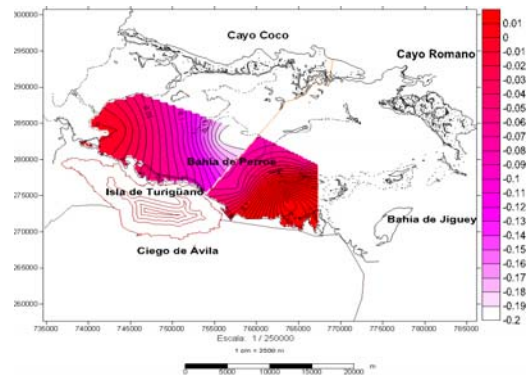


Figura 9. Anomalía de T. Lluvioso 1988-89 y 1989-90

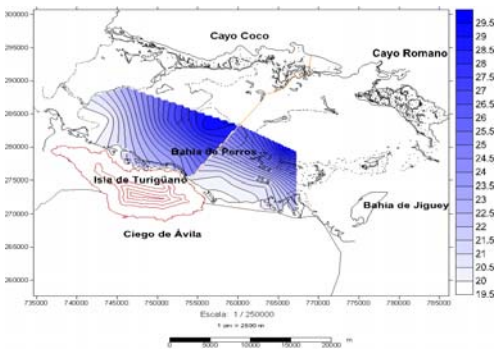


Figura 10. Anomalía de S. Lluvioso 1988 y 1990

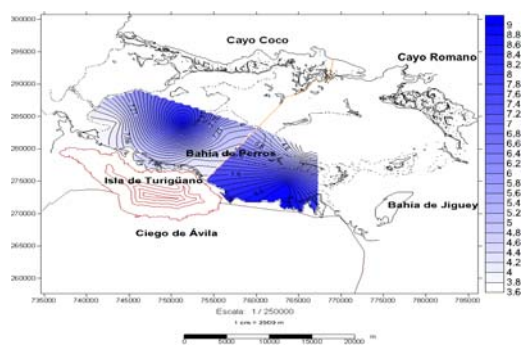


Figura 11 Anomalía de S. Poco lluvioso 1988-89 y 1989-90

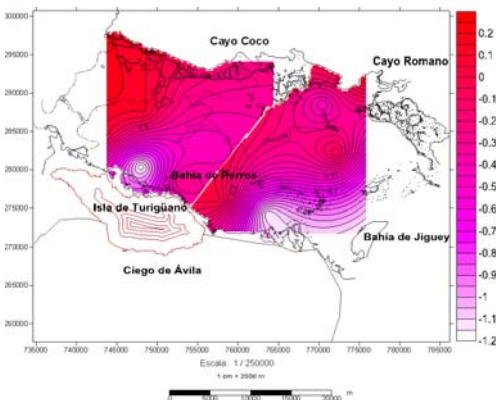


Figura 10. Anomalía de T. Lluvioso 1991 y 1993

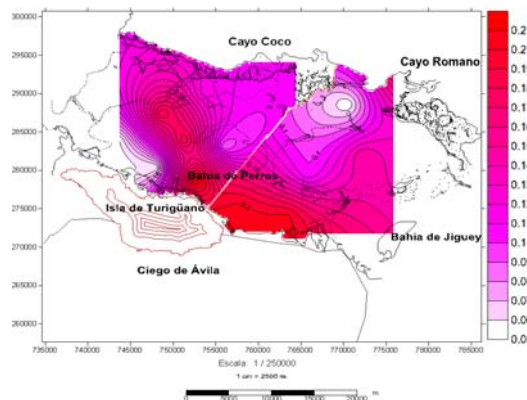


Figura 10. Anomalía de T. Lluvioso 1990-91 y 1992-93

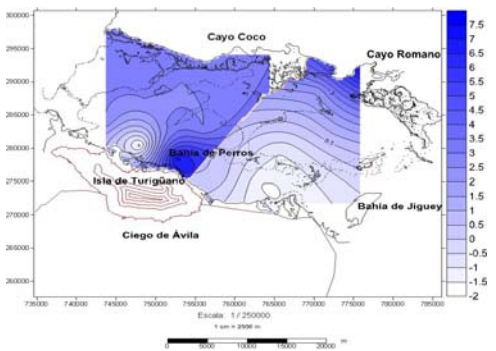


Figura 12. Anomalía de S. Lluvioso 1991 y 1993

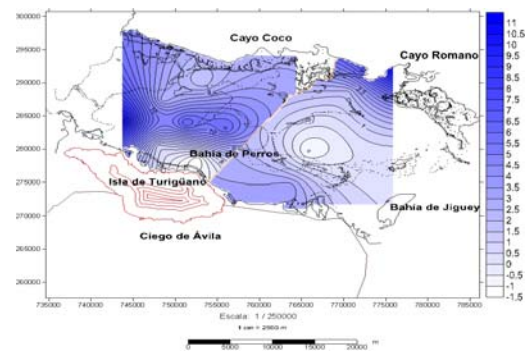


Figura 13. Anomalía de S. Poco lluvioso 1990-91 y 1992-93

En los mapas de anomalías obtenidos se observó la diferenciación que ocurre en los parámetros temperatura y salinidad en aquellas zonas cercanas a la costa de tierra firme, litoral, tanto entre los periodos lluviosos, como poco lluviosos de los años analizados. No obstante, esta diferenciación es inversamente proporcional en ambos mapas: durante los periodos lluviosos transcurridos entre 1988 al 1990 y 1991 al 1993 la variación del tenor halino hacia los extremos *E* y *W* es poca y hacia el Centro ocurre una diferenciación pronunciada del parámetro y durante los periodos poco lluviosos entre 1988-89 al 1989-90 y 1990-91 al 1992-93 el comportamiento, tanto hacia los extremos *E* y *W*, como hacia el Centro, son inversamente proporcionales.

Estos resultados obtenidos en los mapas de anomalías correspondiente a los periodos lluviosos entre 1988 al 1990 y 1991-93 se explican porque durante esta etapa del año los acuíferos se recargan, favoreciendo un escurrimiento subterráneo pronunciado hacia la bahía, por lo que la temperatura y salinidad hacia las zonas *E* y *W* de la bahía, cercanas a la costa, generalmente inferiores en este periodo del año, tienen pocas variaciones. No ocurre lo mismo para la parte Central cercana a la costa, producto de que la existencia de un gran domo salino en esta área provoca que las aguas provenientes del escurrimiento subterráneo posean un tenor halino alto, provocando este resultado.

Contrariamente, los resultados obtenidos en el mapa de anomalías correspondiente a los periodos poco lluviosos entre 1988-89 al 1989-90 y 1990-91 al 1992-93 tienen una explicación diferente. La persistencia en el tiempo de las escasas precipitaciones durante estos años, provocó la depresión de los acuíferos y por lo tanto la no ocurrencia del escurrimiento subterráneo hacia la bahía, lo que unido al incremento de la salinidad de forma general [1], explica las pronunciadas variaciones del parámetro. En cuanto a la zona Central, al no haber prácticamente escurrimiento subterráneo, el domo salino existente no influye sobre la salinización de las aguas cercanas a la costa.

CONCLUSION

1. Los mapas de anomalías pueden ser utilizados para complementar los resultados obtenidos mediante representaciones de modelos cartográficos de variables continuas en aguas marinas.
2. Durante los periodos lluviosos transcurridos entre 1988 al 1990 y 1991 al 1993 ocurre poca variación de la temperatura y salinidad hacia los extremos *E* y *W* de la bahía, mientras que hacia el Centro se produce una diferenciación pronunciada de los parámetros.
3. Durante los periodos poco lluviosos entre 1988-89 al 1989-90 y 1990-91 al 1992-93 ocurre una variación pronunciada de la temperatura y salinidad hacia los extremos *E* y *W* de la bahía, mientras que hacia el Centro prácticamente no ocurren variaciones del parámetro.
4. Los resultados obtenidos permitieron ampliar el conocimiento adquirido durante los trabajos previos realizados sobre el intercambio de agua subterráneo entre los acuíferos cercanos a la costa y la Bahía de Perros [2].

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **González, J. A.:** "Contribución de las variaciones en las condiciones naturales y

las transformaciones antrópicas a la ocurrencia de cambios hidrofísicoquímicos en Bahía de Perros. Propuestas de mitigación”, Tesis de Maestría, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, La Habana, 2012.

2. Fernández, L. J.; D. López and O. Ramírez: “Características termohalinas de las aguas de la plataforma cubana en efecto de los cambios globales sobre los recursos hídricos y ecosistemas marinos costeros”, CYTED-Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo. Red 406RT0285, La Habana, Cuba, 2008.

3. Iturralde-Vinent, M. A.: Geología del territorio Ciego de Ávila-Camagüey-Las Tunas. Resultados de las investigaciones y levantamiento geológico a escala 1: 250 000. Instituto de Geología y paleontología, A.C.C., la Habana, Cuba, 1978

4. González, J. A.; L. Maldonado; R. González; J. A. Fonseca; R. González-Abreu and V. Vidal: Papel regulador de las zonas inundables del Gran Humedal del Norte de Ciego de Ávila ante el peligro de salinización de los acuíferos, XIII Simposio Internacional en percepción remota y Sistemas de Información Espacial ISBN 978-959-247-063-7, La Habana, Cuba, 2008.

5. Álvarez J. L.; L. A. Cuevas; E. Días and B. Pérez y Polo: “Interpretación integrada de los campos magnéticos y de las anomalías de Bouguer total en el Caribe centro occidental”, I Congreso Cubano de Geofísica, La Habana, Cuba, 2000.

6. Cruz, I. and J. A. Blanco: “Análisis estructural a escala regional de la zona de fallas La Trocha”, Minería y Geología, Vol. 23, No. 2, 24 pp., Moa, Cuba, 2007.

7. Rodríguez, A. and J. A. Batista: “Falla Moa: caracterización geodinámica y riesgos tectónicos asociados”, Minería y Geología, Vol. 23, No. 2, 18 pp., Moa, Cuba, 2007.

8. INSMET-CITMA: Caracterización climática costa centro-norte de Ciego de Ávila. Centro Meteorológico Provincial de Ciego de Ávila, Cuba. 2010.

9. Montalvo, J. and S. Loza: “Flujo de materiales conservativos y no conservativos en la Bahía de Jigüey (Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba) y el océano”, Serie Oceanológica. No. 2, La Habana, Cuba, 2006.

10. Menéndez, H. and J. A. González: “Caracterización hidroquímica del Gran Humedal del Norte de Ciego de Ávila”. XIII Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar, MARHABANA, La Habana, 2009.